

SỰ THAY ĐỔI TỔ CHỨC VÀ ĐỘ CỨNG CỦA HỢP KIM ĐỒNG
SAU KHI CÁN VÀ NHIỆT LUYỆN
CHANGING MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF COPPER ALLOY
AFTER ROLLING AND HEAT TREATMENT

VŨ ANH TUẤN*, NGUYỄN HẢI YẾN

Khoa Cơ sở - Cơ bản, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: anhtuan.cscb@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Công nghệ cán là quá trình cho vật liệu biến dạng qua các trục cán quay theo chiều khác nhau, điều này không chỉ làm thay đổi hình dạng vật liệu mà còn thay đổi cơ tính của chúng. Do đó, sau khi cán phải tiến hành xử lý nhiệt để tạo ra sản phẩm cùng cơ tính theo yêu cầu. Bài báo này nghiên cứu sự thay đổi về các pha và độ cứng của vật liệu trong quá trình cán hợp kim đồng, bên cạnh đó đưa ra quy trình xử lý nhiệt phù hợp nhằm khử ứng suất dư và tạo tổ chức phù hợp cho vật liệu.

Từ khóa: Hợp kim đồng, công nghệ cán, chuyển biến pha, cơ nhiệt luyện.

Abstract

Rolling technology is a metal forming in which material is passed through the pairs of rollers rotating in different directions. This process is not only changes the shape of the material but also changes its mechanical properties. Therefore, after rolling, heat treatment is carried out to improve mechanical properties of material. This article studies the changes in phases and hardness of materials during the rolling process of copper alloys, in addition to providing a suitable heat treatment process to reduce residual stresses and suitable mechanical properties for the material.

Keywords: Copper alloy, Rolling technology, Phase transformation, thermo-mechanical treatment.

1. Mở đầu

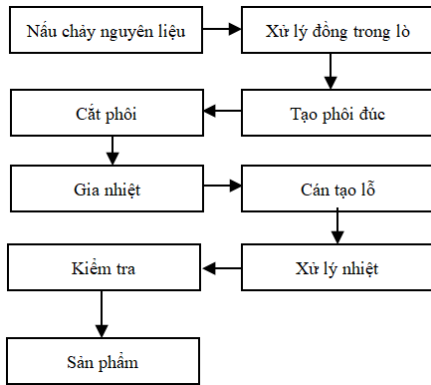
Ống đồng được sử dụng rộng rãi trên thị trường dưới dạng tiêu chuẩn ở tất cả các loại với kích thước đường kính ống và chiều dày thành khác nhau. Các ứng dụng điển hình của ống đồng bao gồm ống cung cấp nước lạnh và nước nóng từ đường nước chính đến vòi hoặc bộ nồi hơi [1], đường vận chuyển chất lỏng làm lạnh trong hệ thống sưởi, thông gió và điều hòa không khí

(HVAC) [2] hoặc các ống dẫn dầu, khí trên tàu,... Một trong những ưu điểm của ống đồng là khả năng biến dạng và chống ăn mòn tốt trong điều kiện làm việc, bên cạnh đó nó có tác dụng chống vi khuẩn (sử dụng hiệu ứng động lực học) [3].

Quá trình sản xuất ống đồng không hàn có lịch sử phát triển gần 100 năm được thực hiện bằng phương pháp đúc - cán liên tục kết hợp với kéo ống để tạo ra các loại có kích thước khác nhau. Để nâng cao độ bền và khả năng làm việc của ống trong các môi trường khác nhau thì cần hiểu rõ về cơ chế biến dạng, sự thay đổi tổ chức trong quá trình cán sau đúc và biện pháp xử lý nhiệt sau cán. Somayeh Khani [4] đã nghiên cứu sự thay đổi cấu trúc vi mô và nano ảnh hưởng đến ứng suất dư và hướng hạt của các ống đồng sau khi kéo bằng ba phương pháp synchrotron, nhiễu xạ neutron và nhiễu xạ tán xạ ngược electron ở các vị trí có độ dày thành lớn nhất và nhỏ nhất. Foadian và cộng sự [5] tập trung vào sự hình thành hướng thay đổi của các hạt tới sự thay đổi ứng suất dư trong vật liệu. Các nghiên cứu khác liên quan tới sự thay đổi tổ chức, sự hình thành các pha sau khi cán và xử lý nhiệt cũng được đưa ra trong tài liệu [6, 7, 8, 9]. Đối với hợp kim Cu-3Ti-2Mg, tổ chức thu được sau khi đúc gồm nền β' -Cu₄Ti, Cu₂Mg và Cu. Sau khi cán nguội, các hạt trở nên dài hơn và thu được cấu trúc vi mô đồng nhất hơn. Sau khi hóa già, một lượng lớn β' -Cu₄Ti kết tủa trên các hạt thon dài hoặc nền đồng và khi tăng thời gian, β' -Cu₄Ti dần chuyển hóa thành β' -Cu₃Ti, giúp làm tăng độ cứng, độ bền kéo và độ dẫn điện của vật liệu [9]. Trong nghiên cứu của Xiang-Peng Xiao và cộng sự trên hợp kim Cu-2.1Ni-0.5Si-0.2Zr cho thấy sự thay đổi độ bền kéo và độ dẫn điện (đạt cực đại 665MPa và 47% IACS). Với mục đích nghiên cứu sự thay đổi tổ chức và cơ tính của hợp kim đồng-niken trong quy trình sản xuất ống đồng không hàn, bài báo sẽ phân tích quy trình sản xuất ống và quy trình xử lý nhiệt nhằm mục đích nâng cao độ bền và khả năng làm việc trong các ứng dụng ống dẫn dầu, khí trên tàu.

2. Quy trình sản xuất ống đồng không hàn

Phương pháp cán nóng được sử dụng rộng rãi để chế tạo các ống đồng không hàn. Với hơn một trăm phát triển, công nghệ cán ngày càng hoàn thiện và cho chất lượng tốt hơn. Quy trình sản xuất ống được nêu trong Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ sản xuất ống đồng không hàn

Để sản xuất ống đồng thông thường, nguyên liệu thô thường từ các loại đồng tái chế chất lượng cao đã qua xử lý, còn đối với các sản phẩm yêu cầu cao thì nguyên liệu đầu vào cần được lựa chọn cẩn thận hơn. Đồng thô được đưa vào lò nung và nấu nóng chảy ở nhiệt độ khoảng 1300°C (nhiệt độ nóng chảy của đồng là 1083°C). Trong quá trình này, tiến hành loại

bỏ các oxit tạp chất nổi lên bề mặt dưới dạng xỉ hoặc khử oxi trong đồng lỏng bằng cách bổ sung phốt pho trước khi tạo phôi (Hình 2).

Đồng nóng chảy sẽ được đổ vào khuôn làm mát bằng nước, sau đó đồng kết tinh sẽ được kéo theo hướng nhất định để tạo khoảng trống đồng lòng tiếp theo, quá trình tiếp tục như vậy cho đến khi thu được chiều dài phôi mong muốn (Hình 3).

Phôi đúc sẽ được gia nhiệt trước khi đi vào tạo lỗ và cán ống (Hình 4). Sau khi cán, các ống có thể được nắm phẳng hoặc kéo qua các khuôn tiếp theo để tạo ra đường kính ngoài và chiều dày thành theo yêu cầu (Hình 5).

3. Quy trình xử lý nhiệt sau cán

Các mẫu đồng có thành phần như Bảng 1 được chia thành ba nhóm để so sánh sự thay đổi tổ chức qua các giai đoạn sản xuất khác nhau: Nhóm (1) được giữ ở trạng thái sau khi đúc để xác định tổ chức và tính chất của vật liệu. Nhóm (2) là các mẫu sau khi cán và nhóm (3) là các mẫu sau khi xử lý nhiệt. Các mẫu nhóm (3) sau cán được nung ở nhiệt độ 350°C trong 1, 2 và 3 giờ và tiến hành làm nguội cùng lò. Sau khi tiến hành tầm thực sử dụng dung dịch $FeCl_3 + HCl + H_2O$, các mẫu được chụp ảnh tổ chức trên kính hiển vi quang học Axiovert - 100A, phân tích nhiễu xạ Ronghen D500 và FESEM S4800.



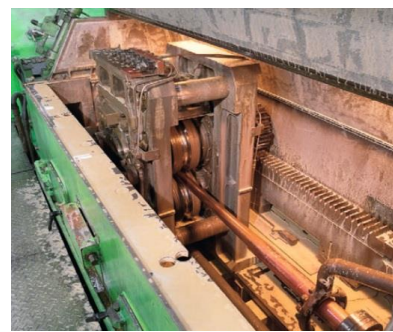
Hình 2. Nấu chảy nguyên liệu thô



Hình 3. Tạo phôi đúc



Hình 4. Quá trình cán

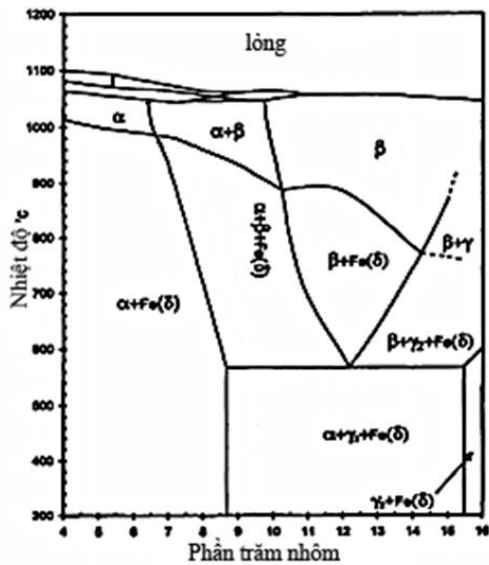


Hình 5. Sản phẩm

4. Ảnh hưởng của quy trình tới sự thay đổi tổ chức và cơ tính của ống đồng không hàn

4.1. Tổ chức và cơ tính sau khi đúc

Trong quá trình đúc, kim loại được nung nóng tới trạng thái lỏng hoàn toàn, sau đó được đổ vào khuôn đúc để kết tinh tạo ra phôi đúc. Theo giản đồ pha trong Hình 6, tổ chức thu được sau khi đúc gồm có pha $\alpha + \gamma_2$ (pha tối) và pha α (pha sáng). Ngoài ra, trên nền pha α có các đốm màu đen là các pha giàu sắt $Fe(\delta)$.



Hình 6. Giản đồ pha của hợp kim đồng

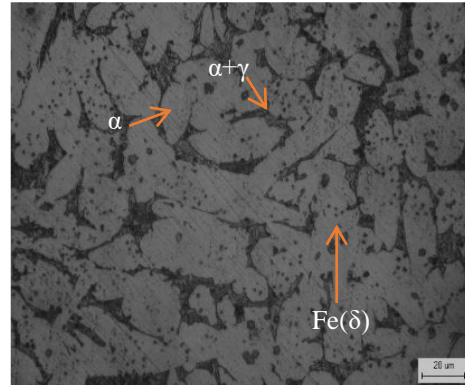
Bảng 1. Thành phần hóa học

Hợp kim	Cu-Al-Fe
Al	9,21%
Fe	3,91%
Ni	0,14%
Cu	Còn lại

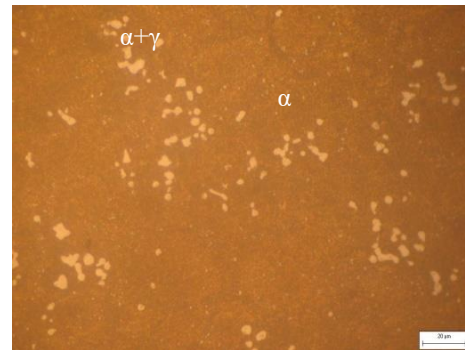
Nhận thấy, kích thước các pha α đồng đều và chiếm hàm lượng lớn nhất trong tổ chức thu được (khoảng 80% diện tích). Pha $Fe(\delta)$ kích thước nhỏ nằm phân tán đều trên nền pha α . Theo kết quả phân tích, tỉ phần pha $Fe(\delta)$ đạt khoảng 2,2% (Hình 8). Độ cứng của mẫu đạt khoảng 87HRB.

4.2. Tổ chức và cơ tính sau khi cán

Trong quy trình cán tạo ống, phôi đúc chịu tác dụng của lực cán làm vật liệu bị biến dạng và tạo hình theo kích thước của lỗ hình. Điều này đã làm thay đổi mạnh hình thái các pha trong vật liệu. Hình 9 biểu diễn tổ chức tế vi sau khi cán ở độ phóng đại 100 lần và 1000 lần. Hình thái hạt α được kéo dài



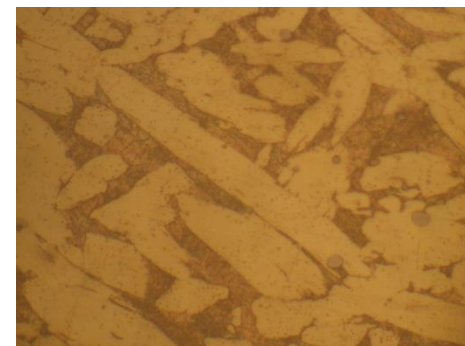
Hình 7. Tổ chức của hợp kim sau đúc



Hình 8. Tỷ phần pha liên kim

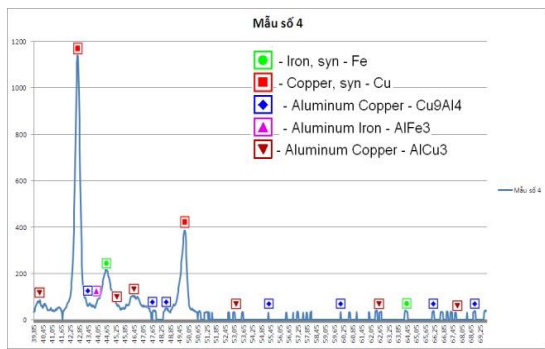


a. x100

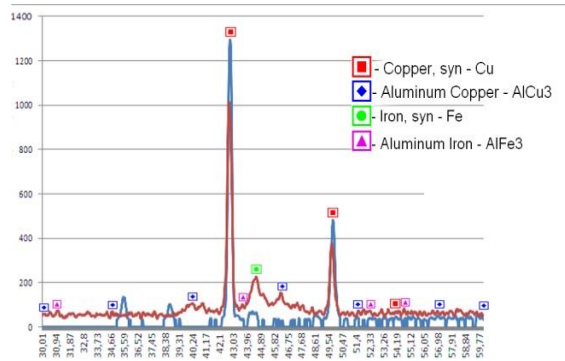


b. x1000

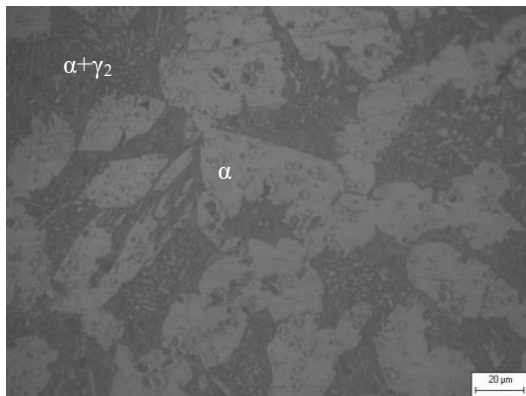
Hình 9. Tổ chức tế vi của tổ chức sau khi cán



Hình 10. XRD sau đúc



Hình 11. XRD sau cán và xử lý nhiệt



Hình 12. Tổ chức tế vi sau khi ủ ở 350 trong 2 giờ

theo phương của lực kéo. Khi nhìn ở mức phóng đại cao, các tấm đen ở nền $\alpha + \gamma_2$ được phân tán mịn hơn. Điều này được giải thích là sau khi cán, pha β chậm phân hủy thành phản ứng cùng tích gồm pha α dẻo và γ_2 giòn, do đó làm giảm tính dẻo tăng mạnh độ bền khi tổ chức này chiếm tỉ phần nhỏ, nhưng sẽ làm tăng tính giòn khi chúng chiếm một hàm lượng lớn. Ngoài ra, các pha giàu sắt Fe(δ) không nhìn thấy khi phóng đại 1000 lần do kích thước quá nhỏ.

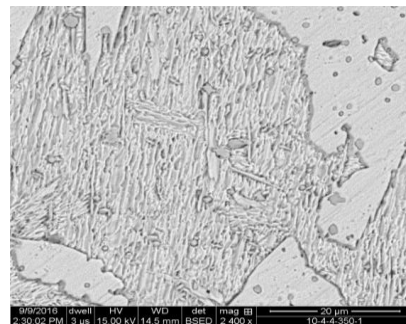
Để phân tích rõ hơn các pha được hình thành, Hình 10, 11 đưa ra kết quả XRD sau khi đúc và sau khi cán. Nhận thấy, ngoài pha α và γ như theo giản đồ pha thì các pha giàu sắt là các pha liên kim Fe₃Al và FeAl. Giá trị độ cứng của mẫu sau cán đạt 110HRB, điều này hoàn toàn phù hợp với sự hình thành tổ chức như đã phân tích ở trên.

4.3. Tổ chức và cơ tính sau khi nhiệt luyện

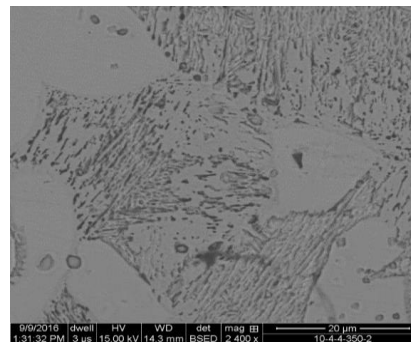
Quy trình nhiệt luyện sau cán được thực hiện bằng cách nung mẫu tới nhiệt độ 350^oC trong 1, 2 và 3 giờ nhằm khử ứng suất dư phát sinh, tạo ra tổ chức pha có tính đồng nhất và tạo tổ chức phù hợp. Tổ chức tế vi của mẫu được biểu diễn trong Hình 12.

So sánh với tổ chức thu được sau cán ở Hình 9b, các pha α không còn dạng kéo dài và có xu hướng

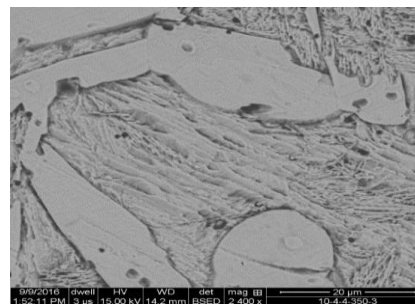
trở về dạng đều trực với kích thước nhỏ mịn và phân tán đều hơn, do đó giảm độ cứng của vật liệu. Độ cứng của mẫu đạt khoảng 99HRB.



a. 1 giờ



b. 2 giờ



c. 3 giờ

Hình 13. Tổ chức của mẫu khi ủ 350^oC trong thời gian giữ nhiệt khác nhau

Ngoài ra, khi thay đổi thời gian giữ nhiệt thì tỉ phần các pha cũng thay đổi. Hàm lượng pha α tăng khi tăng thời gian giữ nhiệt (Hình 13).

5. Kết luận

Nghiên cứu đã chỉ ra sự thay đổi tổ chức tế vi của mẫu đồng trong quy trình sản xuất ống đồng không hàn. Tổ chức thu được của hợp kim sau đúc là $\alpha + \gamma_2$, pha α và các pha liên kim. Trong quá trình cán làm thay đổi hình thái các pha hình thành sau khi đúc, đồng thời làm tăng độ cứng của mẫu. Quy trình ủ sau khi cán giúp giảm ứng suất dư, giảm độ cứng cho vật liệu. Bên cạnh đó, thời gian ủ cũng ảnh hưởng tới tổ chức của mẫu sau khi cán.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT23-24.113**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Davis, J. R. (Ed.). (2001). *Copper and copper alloys*. ASM international.
- [2] Turner, R. (2019). *A study on the deformation and crushing of copper tubing: experiments, theory & FE modelling*. Materials Engineering Research, Vol.1(1), pp.20-31.
- [3] Dick, R. J., Johnston, H. N., & Wray, J. A. (1973). *A literature and technology search on the bacteriostatic and sanitizing properties of copper and copper alloy surfaces*. INCRA REP.
- [4] Khani, S., Palkowski, H., Carradó, A., & Foadian, F. (2023). *Experimental Investigation on Local and Global Texture Evolution in Drawing Seamless Copper Tubes*. Applied Mechanics, Vol.4(1), pp.93-108.
- [5] Engler, O., Schäfer, C., & Brinkman, H. J. (2012). *Crystal-plasticity simulation of the correlation of microtexture and roping in AA 6xxx Al-Mg-Si sheet alloys for automotive applications*. Acta Materialia, Vol.60(13-14), pp.5217-5232.
- [6] Khanh, P. M., Tuan, V. A., & Nam, N. D. (2021). *The influence of thermo-mechanical treatment on phase transformation and shape memory effect of CuAl9Fe4Ni2 alloy*. Materials Research Express, Vol.8(10), 106527.
- [7] Malin, A. S., & Hatherly, M. (1979). *Microstructure of cold-rolled copper*. Metal Science, Vol.13(8), pp.463-472.
- [8] Xiao, X. P., Xiong, B. Q., Wang, Q. S., Xie, G. L., Peng, L. J., & Huang, G. X. (2013). *Microstructure and properties of Cu-Ni-Si-Zr alloy after thermomechanical treatments*. Rare Metals, Vol.32, pp.144-149.
- [9] Li, C., Wang, X., Li, B., Shi, J., Liu, Y., & Xiao, P. (2020). *Effect of cold rolling and aging treatment on the microstructure and properties of Cu-3Ti-2Mg alloy*. Journal of Alloys and Compounds, Vol.818, 152915.

Ngày nhận bài:	01/11/2023
Ngày nhận bản sửa:	13/11/2023
Ngày duyệt đăng:	17/11/2023